

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-278523

(43) 公開日 平成8年(1996)10月22日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35	5 0 1		G 0 2 F 1/35	5 0 1
H 0 1 S 3/07			H 0 1 S 3/07	
H 0 4 J 14/00			H 0 4 B 9/00	E
14/02				

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平7-80559

(22) 出願日 平成7年(1995)4月5日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 小坂 淳也

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株

式会社日立製作所光技術開発推進本部内

(74) 代理人 弁理士 富田 和子

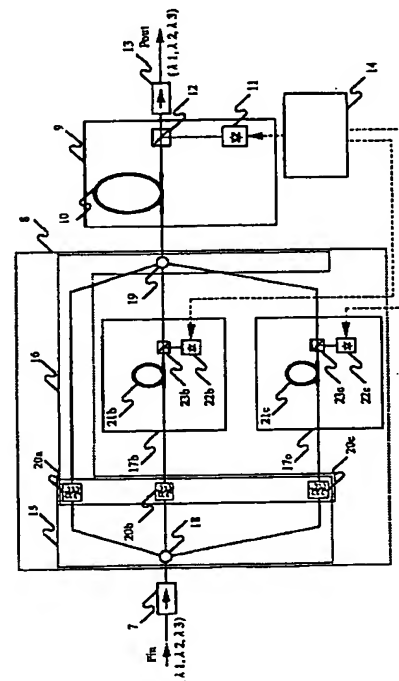
(54) 【発明の名称】 光増幅装置

(57) 【要約】

【目的】 波長多重化された各波長の光信号の光パワーを調整し、各波長の光出力パワーと波長間偏差を調整する。

【構成】 光パワー調整部8では、光スターカプラ18で光を分岐し、光フィルタ20a, 20b, 20cで分岐した各光から波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の光を各々抽出する。そして、光利得調節器17a, 17bで波長 $\lambda 2$ の光と、波長 $\lambda 3$ の光のみを独立に増幅または減衰させ、この後、光スターカプラ19で各波長の光を合波する。光増幅部9では、この波された光の全体を増幅させる。光増幅部9、光利得調節器17a, 17bの利得は、制御装置14が個別に制御する。

図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力した複数の異なる波長の信号光が多重された光を増幅して出力する光増幅装置であって、前記入力した光を受け入れ、受け入れた光に含まれる少なくとも 1 つの波長の光を、当該光の波長と異なる波長の光とは独立に増幅または減衰する光パワー調整手段と、

前記光パワー調整手段によって前記少なくとも 1 つの波長の光が増幅または減衰された光を増幅する光増幅手段と、前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御する制御手段とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 2】 入力した複数の異なる波長の信号光が多重された光を増幅して出力する光増幅装置であって、前記入力した光を増幅する光増幅手段と、前記光増幅手段が増幅した光を受け入れ、受け入れた光に含まれる少なくとも 1 つの波長の光を、当該光の波長と異なる波長の光とは独立に増幅または減衰する光パワー調整手段と、

前記光増幅手段が行う増幅の利得と、前記光パワー調整手段が行う増幅または減衰の利得とを、それぞれ制御する制御手段とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 記載の光増幅装置であって、

前記光パワー調整手段は、光を伝搬する複数の径路と、前記前記受け入れた光を、当該光に含まれる各波長の光に分波して、前記複数の径路のそれぞれに各々伝搬させる光分波部と、

前記複数の径路を伝搬した各波長の光を波長多重する光合波部と、

前記複数の径路のうちの、少なくとも一つの径路中に設けられ、当該径路を伝搬する波長の光を前記制御手段の制御に従って増幅または減衰する光利得調節器とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 4】 請求項 1 または 2 記載の光増幅装置であって、

前記光パワー調整手段は、光を伝搬する複数の径路と、前記前記受け入れた光を、分岐して前記複数の径路のそれぞれに各々伝搬させる光分波部と、

前記複数の径路を伝搬した各光のうちから、各径路毎に、それぞれ特定の波長の光を抽出し、抽出した各波長の光を波長多重する光合波部と、

前記複数の径路のうちの、少なくとも一つの径路中に設けられ、当該径路を伝搬する光を前記制御手段の制御に従って増幅または減衰する光利得調節器とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 5】 請求項 1 または 2 記載の光増幅装置であって、

前記光パワー調整手段は、

i) 前記受け入れた光を伝搬する第 1 の希土類添加光ファイバと、当該希土類添加光ファイバを励起する光を出力する第 1 の励起光源と、当該第 1 の励起光源が出力する光を前記第 1 の希土類添加光ファイバに導く第 1 の励起光源用光合波器とを含む希土類添加光ファイバ増幅器と、

ii) 前記受け入れた光に含まれる少なくとも 1 つの波長の光と同じ波長帯の光を出力する調節用光源と、当該光源の出力する光を前記希土類添加光ファイバ増幅器に、前記受け入れた光の伝搬方向と逆方向から導く調節用光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 6】 請求項 1 または 2 記載の光増幅装置であって、前記制御手段は、前記光増幅手段が行う増幅の利得と前記光パワー調整手段が行う増幅または減衰の利得との組み合わせを記述したパラメータを複数記憶した記憶部と、

前記記憶部から前記複数の組み合わせのうちから任意のパラメータを読みだし、読み出したパラメータに従って、前記光増幅手段が行う増幅の利得と前記光パワー調整手段が行う増幅または減衰の利得を制御する制御部とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 7】 請求項 1、2、3、4 または 5 記載の光増幅装置であって、

前記入力した光もしくは当該光増幅装置で増幅した光に多重されている各波長の光のパワーを検出するモニタ手段を備え、

前記制御手段は前記モニタ手段が検出した各波長の光のパワーに応じて、前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 8】 請求項 3 記載の光増幅装置であって、前記光分波部は、前記前記受け入れた光を分岐する第 1 の光カプラと、当該光カプラと前記複数の径路との間に、前記光カプラで分岐された光に対応して設けられた、それぞれ特定の波長の光のみを双方向に透過させる光フィルタとを有し、

前記光合波部は、前記複数の径路を伝搬した各波長の光を合波する光スターカプラを含み、

前記光増幅装置は、前記光増幅手段が増幅した光の一部をモニタ光として分岐する手段と、分岐したモニタ光を前記光スターカプラに、前記各波長の光を合波した光の伝搬方向と逆方向より導くモニタ光用光合波手段と、前記複数の光フィルタの各々を前記光カプラが分岐した光とは逆方向に各々透過した前記モニタ光に含まれる各波長の光のパワーを、それぞれ検出する複数の光検出手段とを有し、

前記制御手段は、各光検出手段の検出した各波長の光のパワーに応じて、前記光パワー調整手段の行う増幅また

は減衰の利得と、前記光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 9】請求項 4 記載の光増幅装置であって、前記光合波部は、前記複数の径路に対応して設けられた、それぞれ特定の波長の光のみを双方向に透過させる複数の光フィルタと、前記複数の光フィルタを各々透過した各波長の光を合波する光スターカプラとを含み、前記光増幅装置は、前記光増幅手段が増幅した光の一部をモニタ光として分岐する手段と、分岐したモニタ光を前記光スターカプラに、前記各波長の光を合波した光の伝搬方向と逆方向より導くモニタ光用光合波手段と、前記複数の光フィルタの各々を前記光分波部が分波した光とは逆方向に各々透過した前記モニタ光に含まれる各波長の光のパワーを、それぞれ検出する複数の光検出手段とを有し、前記制御手段は、各光検出手段の検出した各波長の光のパワーに応じて、前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 10】請求項 8 または 9 記載の光増幅装置であって、前記制御手段は、前記各光検出手段の検出した各波長の光のパワーの各々と、予め定めた基準値とを比較する比較器と、基準値との差の最大値に応じて前記光増幅手段の行う増幅の利得を制御する手段とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 11】光伝送路と、光伝送路を伝搬した光を受信する受信装置と、複数の異なる波長の信号光が多重された多重光を生成する送信装置と、送信装置が生成した多重光を増幅して前記光伝送路に送信する請求項 1 または 2 記載の光増幅装置とを有することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 12】複数の異なる波長の信号光が多重された多重光を送信する送信装置と、送信装置が送信した多重光を伝搬する第 1 の光伝送路と、第 2 の光伝送路と、第 1 の光伝送路を伝搬した多重光を増幅して前記第 2 の光伝送路に中継する請求項 1 または 2 記載の光増幅装置と、第 2 の光伝送路を伝搬した多重光を受信する受信装置とを有することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 13】複数の異なる波長の信号光が多重された多重光を送信する送信装置と、送信装置が送信した多重光を伝搬する光伝送路と、光伝送路を伝搬した多重光を増幅する請求項 1 または 2 記載の光増幅装置と、前記光増幅装置が増幅した多重光を受信する受信装置とを有することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 14】請求項 3 または 4 記載の光増幅装置であって、前記光利得調節器は、前記径路の一部を構成する第 1 の希土類添加光ファイバと、当該希土類添加光ファイバを励起する光を出力する第 1 の励起光源と、当該励起光源

が出力する光を前記第 1 の希土類添加光ファイバに導く第 1 の励起光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 15】請求項 3 または 4 記載の光増幅装置であって、前記光利得調節器は、半導体によって形成された増幅装置であることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 16】請求項 15 記載の光増幅装置であって、前記前記光増幅手段は、前記光利得調節器を形成する半導体と、同じ組成の半導体によって形成された増幅装置であることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 17】請求項 3 または 4 記載の光増幅装置であって、前記光増幅手段は、第 2 の希土類添加光ファイバと、当該第 2 の希土類添加光ファイバを励起する光を出力する第 2 の励起光源と、当該第 2 の励起光源が出力する光を前記第 2 の希土類添加光ファイバに導く第 2 の励起光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 18】請求項 5 または 14 記載の光増幅装置であって、前記光増幅手段は、前記第 1 の希土類添加光ファイバと同じ組成を有する第 2 の希土類添加光ファイバと、当該第 2 の希土類添加光ファイバを励起する光を出力する第 2 の励起光源と、当該第 2 の励起光源が出力する光を前記第 2 の希土類添加光ファイバに導く第 2 の励起光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 19】請求項 4 または 14 記載の光増幅装置であって、前記第 1 の励起光源の出力する光の波長が、780nm～860nmであることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 20】入力した複数の異なる波長の信号光が多重された光を増幅して出力する光増幅装置であって、前記入力した光を増幅する第 1 の光増幅手段と、前記光増幅手段が増幅した光を受け入れ、受け入れた光に含まれる少なくとも 1 つの波長の光を、当該光の波長と異なる波長の光とは独立に増幅または減衰する光パワー調整手段と、

前記光パワー調整手段によって前記少なくとも 1 つの波長の光が増幅または減衰された光を増幅する第 2 の光増幅手段と、前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記第 1 の光増幅手段の行う増幅の利得と、前記第 2 の光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御する制御手段とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 21】請求項 20 記載の光増幅装置であって、前記第 1 の光増幅手段は、前記入力した光を伝搬する第 1 の希土類添加光ファイバと、当該第 1 の希土類添加光ファイバを励起する光を出力する励起光源と、当該励起

光源が出力する光を分岐する分岐手段と、当該分岐手段で分岐された光を前記第1の希土類添加光ファイバに導く第1の励起光源用光合波器とを含み、前記第2の光増幅手段は、前記前記光パワー調整手段によって前記少なくとも1つの波長の光が増幅または減衰された光を伝搬する第2の希土類添加光ファイバと、前記分岐手段で分岐された、前記第1の希土類添加光ファイバに導かれる光とは異なる光を前記第2の希土類添加光ファイバに導く第2の励起光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光伝送システム等において使用される光増幅装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光通信システムの低コスト化要求に伴い、一本の伝送ファイバに1種以上の相異なる波長の信号光を多重して伝送する、波長多重光伝送が検討されている。また、このような波長多重光伝送に用いる増幅器としては、増幅波長帯域が広く、低雑音での増幅が可能な光増幅装置が適していると考えられている。

【0003】しかし、この光増幅装置を構成する希土類添加光ファイバや半導体光増幅器には、利得の波長依存性があり増幅後の各波長の光出力又は利得に波長間偏差を生ずることが知られている。このため伝送後の光パワーには波長間偏差が生じる。特に、光増幅器による多段中継を行う場合には、各中継段における光増幅装置による波長間偏差が積算されることになるため、伝送後の光パワーの波長間偏差は大きくなる。

【0004】ここで、多重された波長のうち最も低いパワーの波長信号を伝送後の受信パワーの下限值と考えなければならぬので、波長多重伝送における最大伝送距離は、最も低いパワーの波長信号によって制限される。したがって、光増幅装置の出力波長間偏差を低減することが、最大中継伝送距離を拡大させる上で重要となる。

【0005】そこで、たとえば、電子情報通信学会信学技法OCS94-66、OPE94-88(1994-11)「ファイバ増幅率制御を用いた光ファイバ増幅器の多波長一括増幅特性平坦化」では次のような技術が提案されている。

【0006】図18に、この技術に係る光増幅装置の構成を示す。図18において、50はエルビウム添加光ファイバ、51、52は光アイソレータ、53は光合波器、54は励起光源、55は光減衰器である。また、56は光減衰器55の出力を分岐する光カップラ、57は、分岐した光を検出する光検出器57である。

【0007】この技術では、このような光増幅装置によって、オUTFアイバゲインコントローラ(AFGC)によってファイバゲインが12dB一定となるように制御することにより、各波長間偏差を最小にしている。ま

た、光減衰器55によるオUTFパワーコントローラ(APC)によって、中継器増幅率が変わってもゲインスペクトルに影響が及ばないようにしている。

【0008】理論上の計算によれば、このような光増幅器によれば、入力光の波長間偏差を0dBと仮定した場合には、エルビウム添加光ファイバ50の長さが11mの時に各波長間の利得偏差が最小となり、0.12dB以下になると報告されている。また、このような光増幅器を用いて、4波長が多重された光を60回中継した後

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、伝送中の各波長の光損失は中継区間内におけるファイバー損失の違いや、隣り合う波長同士の光パワーの違い等によって異なる。また、実使用状態においては、中継間隔や区間内のファイバー損失は必ずしも一定ではない。このため、実使用状態における波長間偏差や各波長の光パワーを予測することは困難である。したがって、図18に示した光増幅器では実使用状態において次のような問題が生ずる。すなわち、入力レベルが変化したり、入力波長間偏差が生じた場合には出力波長間偏差を0dBにすることができない。

【0010】また、図18に示した光増幅器を用いた場合に、外的な要因により、例えばある一つの波長に生じた独立な変動を抑圧しようとする、他の波長の安定した出力パワーも同時に抑圧されるため、これらの信号光波長出力パワーの安定性に悪影響を与える。

【0011】また、図18に示した光増幅器では、波長間偏差をなくするための最適条件が光増幅器の利得に依存するため、信号光の出力を自在に設定できない。すなわち、中継間隔が光増幅器によって制限されるためことになるため、システム構築の自由度が制限される。また、中継区間毎に波長間偏差を無くするための最適化を行う必要があるという問題もある。

【0012】そこで、本発明は、波長多重化された各波長の光出力パワーと、各波長の光のパワーの波長間偏差を任意に調整することのできる光増幅装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記目的達成のために、本発明は、入力した複数の異なる波長の信号光が多重された光を増幅する光増幅手段の前段または後段に、複数の異なる波長の信号光が多重された光を受け入れ、受け入れた光に含まれる少なくとも1つの波長の光を、当該光の波長と異なる波長の光とは独立に増幅または減衰する光パワー調整手段を設けた。また、前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御する制御手段を設けた。

10

20

30

40

50

【0014】

【作用】以下、光増幅手段の前段または後段に、光パワー調整手段を設けた場合を例にとり、本発明を説明する。

【0015】ここで、光増幅手段として一般的に用いられている希土類添加光ファイバや半導体増幅器は、励起パワー一定の条件下においては、出力パワーが入力パワーに依存する。このことは波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 \dots 、 λ_N の光を多重した多重光を同時に増幅した場合でも同様である。したがって、各波長の光について光増幅器の入力パワーを増減させることにより、入力パワーの増減に依存した出力を得ることが可能である。

【0016】そこで、本発明では、光増幅手段の前段に、複数の波長の光が多重された光を受け入れ、受け入れた光に含まれる少なくとも1つの波長の光を、当該光の波長と異なる波長の光とは独立に増幅または減衰する光パワー調整手段を設け、この光パワー調整手段によって、光増幅手段に入力する各波長の光の波長間偏差を調整し、その後、光増幅手段によって、各波長の光を多重した光を同時に増幅することにより、各波長の光のパワー、波長間偏差を所望の値に調整する。

【0017】

【実施例】以下、本発明に係る光増幅装置の実施例について説明する。

【0018】まず、第1の実施例について説明する。

【0019】図1に、本第1実施例に係る光伝送システムの構成を示す。

【0020】図中、1は信号光を送出する光送信器、2は送出された信号光のパワーを増幅する光ブースタアンプ、3は信号光を伝送する伝送ファイバ、4は信号光を増幅して中継する光中継器、5は伝送された信号光を増幅する光プリアンプであり、6は光プリアンプで増幅された信号光を入力する光受信器である。

【0021】本第1実施例に係る光増幅装置は、このような光伝送システムの、光ブースタアンプ2、光中継器4、光プリアンプ5として用いることができる。

【0022】本第1実施例では、代表として光ブースタアンプ2を本第1実施例に係る光増幅装置によって構成した場合について説明する。

【0023】次に、図2に、この光ブースタアンプ2の構成を示す。

【0024】本第1実施例では、光送信器1より、 $\lambda_1 = 1547 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 1552 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 1557 \text{ nm}$ の3種類の波長の光が波長多重化された入力信号光Pinが光ブースタアンプ2に入力される。

【0025】図2に示すように、光ブースタアンプ2は、光アイソレータ7、光パワー調節部8、光増幅部9、光アイソレータ13、制御装置14より構成される。

【0026】また、光増幅部9は、希土類添加光ファイ

バ10、励起光源11、光合波器12で構成されている。本第1実施例では、希土類添加光ファイバ10としては、エルビウム添加光ファイバを用いる。また、励起光源11としては、1480 nmの半導体レーザーを用いる。

【0027】このような、光ブースタアンプ2において、入力信号光Pinは、光アイソレータ7を介して、光パワー調節部8に供給される。

【0028】光パワー調節部8は、供給された各波長の光の光パワー及び光パワーの波長間偏差の調整を行う。そして、調整した信号光を光増幅部9に出力する。

【0029】光増幅部9において、励起光源11からの励起光は光合波器12を介してエルビウム添加光ファイバ10に流入し、エルビウム添加光ファイバ10を励起する。このためエルビウム添加光ファイバ10に、光パワー調節部8より入力した信号光は増幅され光合波器12を介して、光アイソレータ13に出力される。そして、光アイソレータ13よりは、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の波長の光が多重した出力信号光Poutとして出力される。ここで、励起光源11の励起光量の制御は、制御装置14によって行われる。

【0030】なお、光増幅部9における励起光はエルビウム添加光ファイバ10の前段から入力しても構わない。また光増幅部9としては、半導体増幅器を用いてもよい。

【0031】制御装置14は、光増幅部9、光パワー調節部8を制御することにより、波長毎に光出力及び波長間偏差の調整を行なう。その詳細については後に説明する。

【0032】次に、光パワー調節部8について説明する。

【0033】図3に、光パワー調節部8の内部構成を示す。

【0034】図示するように、光パワー調節部8は、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の波長毎に信号光を分波する光合分波部15、16と、 λ_1 、 λ_2 の波長の光の光パワーを調整する光利得調節器17b、17cを備えている。また、光合分波部15、16は二つの1×3光スターカップラ18、19と光フィルタ20a、20b、20cを組み合わせた構成となっている。また、光利得調節器17b、17cは、希土類添加光ファイバ21b、21c、励起光源22b、22cと、光合波器23b、23cとから構成されている。本第1実施例では、励起光源22b、22cとして820 nmの波長の発光ダイオードを、希土類添加光ファイバ21b、21cとしては、エルビウム添加光ファイバを用いる。

【0035】さて、波長間偏差は一つの波長の光を基準として相対的に設定することが可能である。例えば、 λ_1 の波長の光出力パワーが+10 dBmになるように、前述した光増幅部9の利得を励起光源11の励起光量を

設定することにより定めると共に、これに応じて $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の波長の光の利得を光利得調節器17b、17の励起光源22b、22ccの励起光量をに調整すれば、各波長の光の出力パワーおよび波長間偏差を任意に調整することが可能である。ここで、励起光源22b、22cの出力する調整の制御は制御装置14によって行われる。

【0036】なお、図3には、 $\lambda 1$ の波長の光に対する光利得調節器を設けない場合について示したが、 $\lambda 1$ の波長の光に対する光利得調節器を備え、代えて、 $\lambda 2$ の波長の光もしくは $\lambda 3$ の波長の光に対する光利得調節器を設けないようにしてもよい。また、本第1実施例で用いたエルビウム添加光ファイバ10の特性によると、1544nmと1565nmの波長間偏差はほとんどない。従って、1544nmと1565nmの波長を多重する波長の一種として用いた場合には1544nmと1565nmの光合分波や光利得調節器17による利得の調整は行わずに、他の波長のみについて光利得調節器17による調整を行うようにしてもよい。このように構成することにより、簡略化した光パワー調節部8を構成できる。

【0037】ここで、図4を用いて、光パワー調節部8の光合分波部15、16の動作を説明しておく。なお、図4では、説明の明確化のため光利得調節器17b、17cの図示を省略した。

【0038】さて、図中の、1×3光スターカップラ18によって光は3等分される。そして、3等分された光を、それぞれ入力する3つの光フィルタ20a~20cからは、それぞれ、 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の波長の光が出力される。すなわち、1547nm±1nmの通過帯域を持つ光フィルタ20aは $\lambda 1=1547$ nmの光のみを通過させ、1552nm±1nmの通過帯域を持つ光フィルタ20bは $\lambda 2=1552$ nmの光のみを通過させ、1557nm±1nmの通過帯域を持つ光フィルタ20cは $\lambda 3=1557$ nmの光のみを通過させる。

【0039】これらの光のうち $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の波長の光は、光利得調節器17b、17cで利得を各々調節され、光フィルタ20aが出力する $\lambda 1$ の波長の光と1×3光スターカップラ19によって合波させる。

【0040】なお、光フィルタ20aは $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の波長を通さないものであれば、例えば約1548nm以下の通過波長帯域を持つ低域通過フィルタを用いてもよく、また同様に、光フィルタ20cは $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ の波長を通さないものであれば、例えば約1564nm以上の通過波長帯域を持つ高域通過フィルタを用いてもよい。

【0041】ここで、1×3光スターカップラ18によって3つの波長はそれぞれ-5dBのほぼ均等な損失を受け、光フィルタ20a、20b、20cによりそれぞれ-1dBのほぼ均等な損失を受け、最後に1×3光スターカップラ19によって3つの波長はそれぞれ-5dB

Bのほぼ均等な損失を受ける。従って、光学部品による各波長の光損失はどれもほぼ均等に-11dBになる。このことは、光パワー調節部8内部において波長間偏差を生じさせる要因が光利得調節器17のみとなり、それ以外の光学部品によらないことを示している。なお、波長の多重数を $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ 、 $\lambda 4$ …… λN のように増やす場合は、スターカップラ18、19の分岐数、光フィルタ20の数、光利得調節器17の数を同様に増やせばよい。

【0042】次に、図5を用いて光利得調節器17の動作を詳しく説明する。

【0043】本第1実施例では、光利得調節器17b、17cとして同じものを用いているので、ここでは光利得調節器17bについて説明する。

【0044】図中の励起光源22bからの励起光は光合波器23bによってエルビウム添加光ファイバ21bの後方端より流入し、これを励起する。 $\lambda 2$ 波長の光はエルビウム添加光ファイバ21bの前方端より入力され、エルビウム添加光ファイバ21bにおいて増幅あるいは減衰を受けた後、出力される。励起光源22bは制御装置14によって制御される。なお、ここで励起光はエルビウム添加光ファイバ21の前段から入力しても構わない。また光利得調節器17bは半導体増幅器を用いてもよく、この場合には、励起電流を制御装置14によって制御する。

【0045】さて、一般に光増幅器に用いられる光増幅媒体は励起パワーが流入しているときは光を増幅する媒体として作用するが、流入量が少ないか又は0の時には光を減衰する媒体として作用する。本第1実施例に係る光利得調節器17は、希土類添加光ファイバ21と励起光源22と光合波器23とからなる構成であるため、励起パワーが少ない時には負の利得を有する光利得調節器17として機能し、励起パワーの多い時には光が増幅され正の利得を有する光利得調節器17として機能する。

【0046】従来の光減衰器では外部から電動モーター等による制御を必要としたため構成規模が大きくまた制御速度も遅かったのに対して、本光利得調節器17では、励起パワーの増減のみによって光出力パワーの調整が可能のため、減衰方向も含め、光の利得の調整を簡単かつ瞬時に行うことができる。さらに増幅波長帯域が、多重する信号の帯域を十分にカバーする広さを有するため、それぞれの波長に対する光利得調節器17として同じ構成のものを用いることができる。

【0047】また、本第1実施例において光利得調節器17bに、後段の光増幅器9のエルビウム添加光ファイバ10と同一の素材のエルビウム添加光ファイバ21bを用いのは、次の理由によるものである。

【0048】すなわち、前述したように制御部14によって制御される、光増幅器9の励起光源11の励起光量による制御速度(約1~5mS)は、ほぼ光増幅器9の

エルビウム添加光ファイバ10が励起光によって励起されたときの緩和寿命時間によって決まる。光利得調節器17bも同様に調整速度がエルビウム添加光ファイバ21bが励起光によって励起されたときの緩和寿命時間によって決まるため、前記光増幅器9の制御速度とほぼ同じ速度となる。従って、制御部14によって制御される前記光増幅器9の励起光源11の励起光量による制御速度と同等の早い速度で調整可能であり、かつ、調整の際に信号変調波形に悪影響を与えるような、過度に早い調整を行わない。また、光増幅器9のエルビウム添加光ファイバ10の増幅波長帯域と、光利得調節器17bの調整波長帯域とを全く同一とすることができる。

【0049】以上の理由から、光利得調節器17b内の希土類添加光ファイバ21bと、後段の光増幅器9の希土類添加光ファイバ10の素材は同一化させた方が良くと発明者は考える。ただし、エルビウム添加光ファイバ21bに代えて他の希土類添加光ファイバを用いても良い。

【0050】さて、エルビウム添加光ファイバ21bの長さは、過度の増幅特性を必要としないため3m程度の長さで良く、光増幅器9に用いるエルビウム添加光ファイバ10と比較して約1/10の長さで済む。

【0051】次に、励起光源22bに用いた830nmの波長の発光ダイオード22bの出力は20mW以下で良い。一般に希土類添加光ファイバを増幅媒体として用いる場合には高利得効率が得られる、980nmや、1480nmの波長帯を有する高出力半導体レーザーが有効であるが、光利得調節器17bに用いる励起光源22bには低利得効率の波長帯を有する光源や、低出力の光源でも充分適用可能である。従って光利得調節器17bに使用可能な励起光源22bの適用範囲は広く、例えば520nm近隣や660nm近隣、820nm近隣、980nm近隣、1480nm近隣に波長帯を有する低出力の光源を用いることができる。特に830nm近隣の発光ダイオード22bは低価格で入手可能であるため、これを用いた本第1実施例によれば低コストにて光利得調節器17bを構成可能である。

【0052】次に、制御装置14について説明する。 *

* 【0053】制御装置14は、前述したように光増幅器9の励起光源11の励起光量、光パワー調節部8の各光利得調節器17b、17cの励起光源22b、22cの励起光量を制御し、波長毎に光出力及び波長間偏差の調整を行なう。

【0054】図6に、制御装置14の内部構成を示す。

【0055】図中において、メモリ部24には、あらかじめいくつかの制御パラメータ25が記憶されている。例えば光増幅器9の励起光源11である1480nm半導体レーザー11の励起光量と、各光利得調節器17内部の励起光源22b、22cである820nmの発光ダイオード22b、22cの励起光量との組がパラメータ25として、複数記憶され、このうちの一つが外部からの入力情報に応じて、制御部26によって選択されるようになっている。

【0056】制御部26は、光増幅器9の励起光源11である1480nm半導体レーザー11の励起光量と、各光利得調節器17内部の励起光源22b、22cである820nmの発光ダイオード22b、22cの励起光量を、選択されたパラメータ25に従って制御する。

【0057】ここで、制御パラメータ25は入力光の各波長のパワーの組み合わせ毎に設けておき、制御部26が外部より通知された現実の入力光パワーに応じて選択する。

【0058】表1に各波長の入力光のパワーの組み合わせ毎に設けた制御パラメータ25を示す。

【0059】この制御パラメータ25によれば、入力光の各波長のパワーの組み合わせが表1に示すいずれの場合でも光出力パワーを各波長とも+10dBm、波長間偏差を0dBに設定することができる。本第1実施例では、光送信器1の光ブースタンプ2への入力パワーはλ1、λ2、λ3共に-2dBmに精度良く制御され、入力パワーの変動や入力波長間偏差がほとんどないため、制御部26によって下記表1の網掛の部分のパラメータ25を選択する。

【0060】

【表1】

表1

入力パワー (λ1, λ2, λ3)[dBm]	(-2, -2, -1)	(-2, -2, -3)	(-2, -1, -1)	(-2, -3, -1)	(-2, -1, -2)	.....
出力パワー (λ1, λ2, λ3)[dBm]	(+10, +10, +10)	(+10, +10, +10)	(+10, +10, +10)	(+10, +10, +10)	(+10, +10, +10)	.....
励起光源[mW] (11)	91	98	87	94	93	.....
光パワー調節器 (22b)	-0.7	+0.8	-1.6	0	-2.1	.....
(22c)	-2.3	-0.3	-2.1	-2.5	-1.6	.....

【0061】なお、制御パラメータ25としては、励起光源11及び22に与える電流値を記述したものを用いてもよい。

【0062】また、制御パラメータ25は出力光のパワ

一の組み合わせ毎に設けておき、制御部26が外部より通知された所望の出力光のパワーの組み合わせに応じて選択するようにしてもよい。

【0063】表2に、出力光のパワーの組み合わせ毎に

設けた制御パラメータ 25 の例を示す。

【0064】表 2 に示す制御パラメータ 25 によれば、任意の出力波長間偏差毎、出力光パワーを得ることができる。本実施例における光送信器 1 の光増幅装置への入力パワーは $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ 共に -2 dBm に精度良く制御され、入力パワーの変動や入力波長間偏差がほとんどない。このような条件において、信号光を 120 km 伝送した後の光パワーを、各波長共 -2.5 dBm 一定に*

表 2

入力パワー ($\lambda 1, \lambda 2, \lambda 3$) [dBm]	(-2, -2, -2)	(-2, -2, -2)	(-2, -2, -2)	(-2, -2, -2)	(-2, -2, -2)	(-2, -2, -2)	.....
出力パワー ($\lambda 1, \lambda 2, \lambda 3$) [dBm]	(+10, +10, +9)	(+10, +10, +10)	(+9.8, +10, +11)	(+10.5, +10.7, +9.8)	(+10, +10.5, +9.8)	(+10.2, +10.2, +10.5)	.....
励起光源 [mW] (11)	91	95	98	87	94	97.2	.....
光パワー調整器 [dB]							
$\lambda 2$ (22b)	-0.7	-1.0	+0.8	-1.6	0	-2.1	.....
$\lambda 3$ (22c)	-2.3	-1.5	-0.3	-2.1	-2.5	-1.6	.....

【0066】この場合も、制御パラメータ 25 としては、励起光源 11 及び 22 に与える電流値を用いてもよい。また、出力パワーではなく、換算利得を制御するように設定してもよい。

【0067】ところで、光パワー調節部 8 は、図 7 に示すように構成しても良い。

【0068】図 7 に示した構成と、先に図 3 に示した構成との相違は、 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ 全ての波長に対して光利得調節器 17a、17b、17c を設けた点である。このように構成すれば、全く独立に各波長の光パワーを調整可能であり、調整精度も向上する。この場合、制御部 14 において記憶する制御パラメータ 25 には、 $\lambda 1$ 、の光利得調節器 17a の励起光源 22a の励起光パワーも記述するようにする。なお、この構成は、同様に光利得調節器 17 の数を増やすことにより、波長の多重数を $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ 、 $\lambda 4$ λN のように増えた場合にも対応できる。

【0069】なお、この場合も、光利得調節器 17a、17b、17c として、半導体増幅装置を用いるようにしてもよい。

【0070】光パワー調節部 8 は、また、図 8 のように構成するようにしてもよい。

【0071】図 8 に示した構成によれば、前記光パワー調節部 8 は、光アイソレータ 27 と希土類添加光ファイバ 28 と、制御部 14 によって制御される励起光源 29 と光合波器 30 と、外部から制御部 14 によって制御される 1 種以上の相異なる $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の波長の光源 31a、31b、31c と該光源からの光を信号光とは

* するためには、伝送中の減衰の波長間偏差が相殺されるように、制御部 26 によって例えば表 2 の網掛のパラメータ 25a を選択すればよい。各波長の光出力パワーは、伝送距離や伝送ファイバ 3 の損失に応じて最適な状態を求めるようにする。

【0065】

【表 2】

逆方向に合波する 1×4 光スターカップラ 32 とで構成される。

【0072】光源 31a、31b、31c の光はそれぞれ多重した信号光の波長帯と一致している。このような構成により、例えば或る波長の信号光の光パワーが大きいときにはそれと同じ波長帯の光源 31 の光出力を大きくすることにより、希土類添加光ファイバ 28 内の増幅エネルギーを消費させ、その波長の信号光の増幅率を下げる可以降低ことができる。逆に或る波長の信号光の光パワーが小さいときにはそれと同じ波長帯の光源 31 の光出力を小さくすることにより、希土類添加光ファイバ 28 内の増幅エネルギーを保ち、その波長の信号光の増幅率を上げることができる。

【0073】図 8 の構成では、光源 31 からの光を信号光とは逆方向に入射することにより、これらの光が信号光に混在することを防止している。また、希土類添加光ファイバ 28 の前段に光アイソレータ 27 によって、希土類添加光ファイバ 28 内において増幅されて逆方向に進む光源 31 からの光を遮断し、光パワー調節部 8 前段に配置される部品への影響を防止している。ここで、図 8 の構成でも、希土類添加光ファイバ 28 にはエルビウム添加光ファイバを、励起光源 29 には 830 nm の半導体レーザーを用いた。そして、光出力を各波長とも $+10 \text{ dBm}$ 、波長間偏差を 0 dB に設定する為に、制御部 26 によって表 3 のような制御パラメータ 25 を選択した。

【0074】

【表 3】

表3

入力パワー ($\lambda 1, \lambda 2, \lambda 3$)(dBm)		(-2,-2,-2)
出力パワー ($\lambda 1, \lambda 2, \lambda 3$)(dBm)		(+10,+10,+10)
励起光源[mW] (11)		95mW
光パワー調整器 [dB]	励起光源[mW] (29)	30mW
	光源 $\lambda 1$ (31a)	0mW
	光源 $\lambda 2$ (31b)	5mW
	光源 $\lambda 2$ (31c)	7mW

【0075】なお、この構成においても、制御パラメータ25は、励起光源11及び22や光源31の電流値を用いてもよい。また光合波器30、エルビウム添加光ファイバ28、励起光源29の部分で半導体増幅装置に置き換えてもよい。

【0076】以下、本発明に係る光増幅装置の第2の実施例について説明する。

【0077】図9に、本第2実施例に係る光増幅装置の構成を示す。

【0078】本第2実施例に係る光増幅装置の構成が、光ブースタンプ2として適用した第1実施例に係る光増幅装置（図2参照）と異なる点は、光出力の一部を分岐する光分岐部33、光分岐部33によって分岐された光中に含まれる $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の波長の光各々のパワーもしくは波長間偏差を検知する出力モニタ部34、入力光の一部を分岐する光分岐部35、光分岐部35によって分岐された光に含まれる $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の波長の光の各々のパワーもしくは波長間偏差を検知する入力モニタ部36を備えた点である。また、本第2実施例においては、制御装置14は、出力モニタ部34と入力モニタ部36との少なくとも一方により検出された各波長の光のパワーもしくは波長間偏差に応じて、出力光に含まれる各波長の光のパワーあるいは波長間偏差が予め定められた値になるよう、前記光パワー調節器8内の各光利得調節器17と、光増幅部9の励起光源11を自動制御する。

【0079】このような構成によれば、光増幅装置への入力パワーや出力パワーや換算利得に変動があった場合でも、各波長の光出力パワーや波長間偏差を予め定められた値に自動制御することができる。また何れかの波長の光のみに変動があった場合も、他の波長の出力パワーに影響を与えることなく、この変動があった波長の光の出力パワーを予め定められた値に制御することが可能となる。また、光増幅部9の励起光源11などの経年劣化が生じた場合でも、常に各波長の光出力パワー及び波長間偏差を予め定められた値に維持することができ、光増幅装置全体としての安定性と信頼性を向上させることが可能となる。

【0080】ただし、本第2実施例において新たに設け

た光分岐部33、出力モニタ部34、光分岐部35、入力モニタ部36のうち、光分岐部33と出力モニタ部34のみ、もしくは、光分岐部35と入力モニタ部36のみを設けるようにしてもよい。

【0081】以下では、本第2実施例において新たに設けた光分岐部33、出力モニタ部34、光分岐部35、入力モニタ部36のうち、光分岐部33、出力モニタ部34のみを設けた場合について説明する。

20 【0082】図10に、この場合の光増幅装置の、より詳細な構成を示す。

【0083】図中において、出力モニタ部34は、1×3光スターカップラ37、光カップラ38a、38b、38c、光フィルタ20a、20b、20cを通過して再び光カップラ39a、39b、39c、光検出器40a、40b、40cによって構成される。ここで、光フィルタ20a、20b、20cは、図3に示した光フィルタ20a、20b、20cである。すなわち、本第2実施例では、光フィルタ20a、20b、20cは、出力モニタ部34の一部としても用いられる。また、他の部位は、図3に同符号で示した部位と同じものである。

30 【0084】さて、このような構成において、出力の一部から光カップラを用いた光分岐部33によって分岐されたモニタ光は、1×3光スターカップラ37によって再分岐し、それぞれ光パワー調節器8内部において、光カップラ38a、38b、38cにより、信号光とは逆方向に入射する。入射した光は各波長に対応する光フィルタ20a、20b、20cによって各々の波長の光が取り出された後に、さらに光カップラ39a、39b、39cにより一部が分岐される。分岐した各波長の光のパワーは光検出器40a、40b、40cによって検出され、制御装置14に通知される。

40 【0085】このように、図10に示した構成では、光フィルタ20a、20b、20cは、モニタ光のうち必要な波長成分を抽出する機能と、前記第1実施例において果たした入力光を波長毎に分光する機能を共に果たしている。このような構成によれば、出力モニタ部34のために新たに光フィルタを設ける必要が無いので、構成が簡略化される。

50 【0086】また、本構成によれば、出力光から分岐し

たモニタ光は、光利得調節器 17 a, 17 b, 17 c の前段において光フィルタ 20 a, 20 b, 20 c に接続する光ファイバに入力するため、モニタ光が、光利得調節器 17 a, 17 b, 17 c の影響を被ることはない。逆に、モニタ光は、光利得調節器 17 a, 17 b, 17 c への入力光とは逆方向に入射するため、入力光と同一の光ファイバを通過するにも関わらず、入力光自体に悪影響を与えない。また、本構成では、光カップラ 33 を光アイソレータ 13 の後段に配置することによって、光

パワー調節部 8 から分岐された信号光が、光カップラ 33 によってエルビウム添加光ファイバ 10 に逆流せぬようになっている。

【0087】このように図 10 に示した構成によれば、簡略な構成で出力モニタ部 34 を実現することができる。なお、本構成は、波長の多重数を $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ 、 $\lambda 4$ ……のように増やしても 1×3 光スターカップラ 37 の分岐数を増やすことにより拡張可能である。

【0088】次に、図 11 に、制御装置 14 の詳細な構成を示す。

【0089】図中、40 a, 40 b, 40 c は光検出器、41 は比較回路、42 は所定の基準値を与える回路、43 は最大誤差判定回路、44 は選択回路、11 は励起光源、17 a, 17 b, 17 c は光利得調節器である。

【0090】このような構成において、比較回路 41 は、光検出器 40 a, 40 b, 40 c により検出された各波長の光のパワーと、回路 42 が与える基準値とを比較し、その誤差を出力する。最大誤差判定回路 43 は誤差が最大である波長を求め、選択回路 44 が、誤差が最大である波長の誤差を励起光源 11 に伝達し、それ以外の波長の誤差を各波長に対応する光利得調節器（図では 17 b, 17 c）に伝達するよう制御する。これにより、検出した各波長の光のパワーのうち、誤差が最大である波長の光パワーが予め定められた値になるよう励起光源 11 を制御し、同時にそれ以外の波長の光パワーが予め定められた値になるよう各波長に対応した光利得調節器（図では 17 b, 17 c）を制御することができる。また、誤差が与えられない光利得調節器（図では 17 a）は、常に光損失が最小になるような利得に対応する波長の光に与える。ここで、回路 42 は、誤差が、励起パワーの不足を示す基準値を与えるように予め設定する。

【0091】このような構成によれば、光利得調節器 17 による光損失を最小にしても予め定められた値に到達しない波長が存在する時のみ、光増幅部 9 の励起光源 11 のパワーが増加されるため、励起パワーの過剰な入力を防止することが可能となる。また、併せて光利得調節器（図では 17 b, 17 c）を制御することにより励起

できる。

【0092】従って光増幅装置全体の消費電力を低減でき、信頼性を向上させる。

【0093】ところで、図 10 に示した光分岐部 33、出力モニタ部 34 は、図 12 に示すように構成するようにしてもよい。

【0094】図 12 に示した構成では、光カップラ 39 a, 39 b, 39 c、光受光器 40 a, 40 b, 40 c、光カップラ 45、光合分波部 16 によって出力モニタ部 34 を構成している。図中の光合分波部 15 および光合分波部 16 は、それぞれ図 4 に示した構成を備えている。ただし、本第 2 実施例における光合分波部 15 および光合分波部 16 は、図 4 中の光フィルタ 20 a, 20 b, 20 c を共有しておらず、光合分波部 15 と光合分波部 16 のそれぞれに、光フィルタ 20 a, 20 b, 20 c の組を備えている。

【0095】このような構成において、光出力の一部を光分岐部である光カップラ 33 によって分岐し、エルビウム添加光ファイバ 10 の前段において、光カップラ 45 によって入力光とは逆方向に入力する。ただし、本構成では、前記光パワー調節部 8 内部の合分波部 16 を、光利得調節器 17 a, 17 b, 17 c によって調整した各波長の光を合波すると共に、信号光とは逆方向に入射した光を $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ の各波長に分波するように構成している。

【0096】合分波部 16 によって、各波長毎に分波された各波長の光は、それぞれ光カップラ 39 a, 39 b, 39 c によって分岐し、光受光器 40 a, 40 b, 40 c にて、そのパワーが検出される。

【0097】このような構成によれば、光合分波器 16 を光パワー調節部 8 用と出力モニタ部 34 用とで共有させたため、少ない構成要素で出力モニタ部 34 を実現することが可能となる。また、モニタ光は信号光とは逆方向に入射するため、信号光と同一の光ファイバを通過するにも関わらず、信号光自体に悪影響を与えない。また、光カップラ 33 を光アイソレータ 13 の後段に配置することによって、光パワー調節部 8 から分岐された光が、光カップラ 33 によってエルビウム添加光ファイバ 10 に逆流せぬようにしている。なお、同様の構成によって、波長の多重数を $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\lambda 3$ 、 $\lambda 4$ ……のように拡張することができる。

【0098】なお、図 3 に示したように任意の一つの波長の光に対する部の光利得調節器 17 を設けない場合には、図 12 に光増幅装置は図 13 に示すように構成する。

【0099】図 13 に示した構成が、図 12 と異なる点は、光パワー調節部 8 内部の光利得調節器 17 を一つ削減した点である。このような構成において、制御装置 14 は、光利得調節器 17 が設けられていない波長の光のモニタ光の検出パワーにより、光増幅部 9 に励起光源 1

10

20

30

40

50

1を制御するようにする。また、他の波長の光は、光利得調節器17b、17cの調整により制御するようにする。

【0100】このように構成すれば、構成要素を減らすことが化できる。また制御装置による制御も簡易となる。

【0101】図14に、図13に示すように光増幅装置を構成した場合の制御装置14の構成を示す。

【0102】図14中、40a、40b、40cは光検出器、41は比較回路、42は所定の基準値を与える回路、11は励起光源、17b、17cは光利得調節器である。回路42が与える基準値は、比較回路41が出力する光増幅部9の励起光源11に対する制御量が、光利得調節器17を設けなかった波長の光を光増幅部9が予め定められたパワーにするような制御量となるように定めている。また、回路42が与える基準値は、残りの波長の光のパワーが予め定めたパワーになるような制御量が比較回路42より光利得調節器17b、17cに対して出力するように定めている。つまり、光利得調節器17を設けない波長に対しては励起光源11の増減によって調整を行い、この光に対する光利得調節器17を設ける波長の光の調整は光利得調節器17b、17cの調整量の増減によって調整を行うようにしている。

【0103】以下、本発明の第3の実施例について説明する。

【0104】本第3実施例は、図1に示した光中継器4として適用する光増幅装置についてのものである。

【0105】図15に、本第3実施例に係る光増幅装置の構成を示す。

【0106】図示するように、本第3実施例に係る光増幅装置が前記第2の実施例に係る光増幅装置と異なる点は、光パワー調節器8の前段にも光前置増幅部46を設けた点である。

【0107】本第3実施例では、このような構成によって、光増幅装置全体としてのS/N比劣化を防止すると共に、光伝送システム全体のS/N比劣化を防止する。

【0108】図16に、本第3実施例に係る光増幅装置の、より詳細な構成を示す。

【0109】図中、出力モニタ部34、光パワー調節部8の構成は、先に図13に示した光増幅装置の構成と同じである。

【0110】光前置増幅部46はエルビウム添加光ファイバ47と光合波器48とで構成される。光カップラ49は、励起光源11からの励起光を分岐し、光増幅部9内部のエルビウム添加光ファイバ11へ入力し励起する働きと、光前置増幅部46内部のエルビウム添加光ファイバ47へ入力し励起する働きを果たしている。

【0111】本構成では光カップラ49の分岐比を20:80としており、20側を光前置増幅部46へ、80側を光増幅部9へ分岐している。例えば光パワー調節

部8においてλ1の波長の光が-5dBmの損失を受ける場合、光前置増幅部46において約18dBの増幅を行うことによって、光増幅装置全体のS/N比劣化を約60%低減することができる。また、本構成における光前置増幅部46はλ1、λ2、λ3の波長の光を同時に増幅するため、同時にλ2の波長の光もS/N比劣化を約62%低減、λ3の波長の光もS/N比劣化を約65%低減する。

ところで、光増幅器では、一般に信号光の増幅と同時に、信号波長外に自然放出光と呼ばれる光の雑音成分が発生する。この自然放出光は光増幅器全体のS/N比を劣化させる要因となる。しかし、光フィルタ20によって信号光の波長近傍のみを抽出しているため、前記光パワー調節部8の前段からλ1、λ2、λ3と同時に入射する自然放出光成分は除去される。このため、この構成によれば、この意味においても光増幅装置全体としてのS/N比劣化を抑圧できる。

【0112】以下、本発明の第4の実施例について説明する。

【0113】本第4実施例は、図1に示した光プリアンプ5として適用する光増幅装置についてのものである。

【0114】図17に本第4実施例に係る光増幅装置の構成を示す。

【0115】図示するように、本第4実施例が第1、第2、第3の実施例と異なる点は、光パワー調節部8と光増幅部9の前後を入れ替えた点である。一般に、光プリアンプ5では過大な光出力を必要としないため、このように光増幅部9の後段で、光パワー調節器8により出力パワーや波長間偏差を調整してもよい。このように構成すれば、光増幅部9の前段における光損失を防止できるため、光増幅装置全体としてのS/N比劣化を抑圧できる光プリアンプ5を、簡単な構成で提供可能である。なお、図中光パワー調節部8と光アイソレータ13の位置は入れ換えてもよい。

【0116】以上、本発明の実施例について説明した。

【0117】なお、以上の各実施例では、光増幅装置8において、各光利得調節器17の前段に各光フィルタ20を設けた。しかし、図10に示した光増幅装置を除く他の光増幅装置においては、各光利得調節器17の前段に各光フィルタ20を設けず、各光利得調節器17の後段に光フィルタ20を設けるようにしてもよい。

【0118】すなわち、図3の光増幅装置8において、光フィルタ20bを光合波器23bと光スターカップラ19の間に配置し、光フィルタ20cを、光合波器23cと光スターカップラ19の間に配置するように変更してもよい。また、同様に、図7の光増幅装置8において、光フィルタ20aを光合波器23aと光スターカップラ19の間に配置し、光フィルタ20bを光合波器23bと光スターカップラ19の間に配置し、光フィルタ20cを光合波器23cと光スターカップラ19の間に配置するよう

に変更してもよい。また、図12、図13、図16の光増幅装置においては、光分波部15内に光フィルタ20を設けず、光分波部15を光スターカップラ18のみで構成するようにしてもよい。

【0119】このようにしても、各光利得調節器17の後段に設けた光フィルタ20によって、各光利得調節器17で増幅された光のうちから、各光フィルタを各光利得調節器17の前段に設けた場合と同じ各波長の光のみが取り出され、光スターカップラ19に入力するので、前述した各実施例と同様に、各光利得調節器17で、それ

ぞれ調節された各波長の光が光スターカップラ19で合波されることになる。

【0120】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば各波長の光出力パワーと波長間偏差を任意に調整することができる光増幅装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例に係る光伝送システムの構成を示すブロック図である例を示す構成図である。

【図2】本発明の第一の実施例に係る光増幅装置の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第一の実施例に係る光パワー調整部の第1の構成例を示すブロック図である。

【図4】本発明の第一の実施例に係る光合分波器の構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第一の実施例に係る光利得調節器の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の第一の実施例に係る制御装置の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の第一の実施例に係る光パワー調整部の第2の構成例を示すブロック図である。

【図8】本発明の第一の実施例に係る光パワー調整部の第3の構成例を示すブロック図である。

【図9】本発明の第二の実施例に係る光増幅装置の概略構成を示すブロック図である。

*【図10】本発明の第二の実施例に係る光増幅装置の第1の構成例を示すブロック図である。

【図11】本発明の第二の実施例に係る光増幅装置の第1の構成例における制御装置の構成を示す図である。

【図12】本発明の第二の実施例に係る光増幅装置の第2の構成例を示すブロック図である。

【図13】本発明の第二の実施例に係る光増幅装置の第3の構成例を示すブロック図である。

【図14】本発明の第三の実施例に係る光増幅装置の第1の構成例における制御装置の構成を示すブロック図である。

【図15】本発明の第三の実施例に係る光増幅装置の構成を示すブロック図である。

【図16】本発明の第三の実施例に係る光増幅装置の詳細な構成を示すブロック図である。

【図17】本発明の第四の実施例に係る光増幅装置の構成を示すブロック図である。

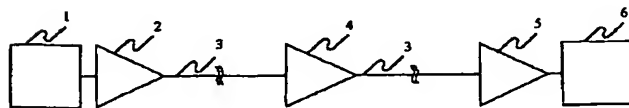
【図18】従来の光増幅装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

1…光送信器、2…光ブースタンプ、3…伝送ファイバ、4…光中継器、5…光プリアンプ、6…光受信器、7、13、27、51、52…光アイソレータ、9…光増幅部、12、16、23、30、48、53…光合波器、10、21、28、47、50…希土類添加光ファイバ、11、22、29、54…励起光源、8…光パワー調整部、14…制御装置、15、32…光分波部、16…光合波部、17…光利得調節器、18、19、33、35、37、38、39、45、49、56…光カップラ、24…記憶部、25…制御パラメータ、26…制御部、31…光源、34…出力モニタ部、36…入力モニタ部、40、57…光検出器、42…基準値、41…比較器、43…最大誤差判定器、44…選択器、46…光前置増幅部、55…光減衰器

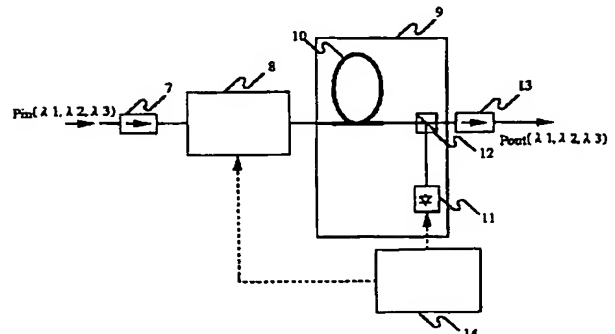
【図1】

図1



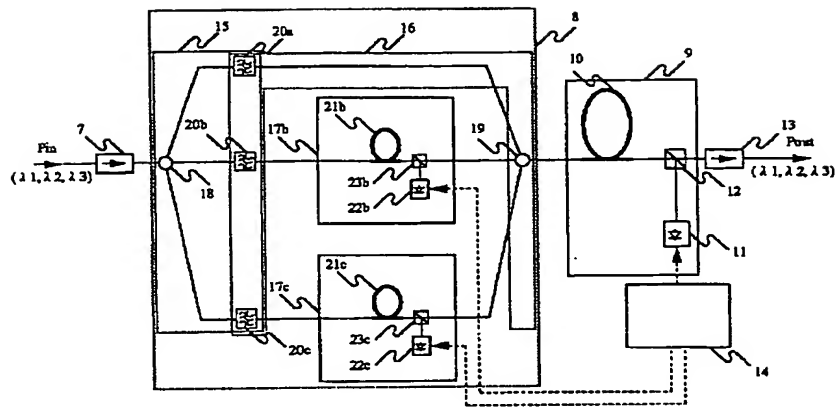
【図2】

図2



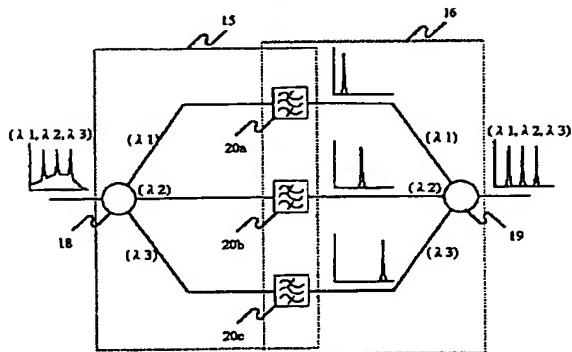
【図3】

図3



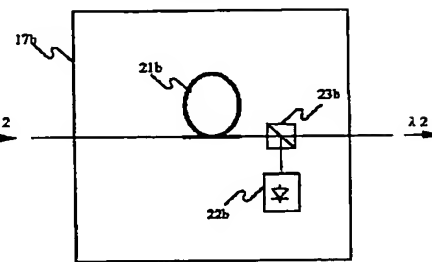
【図4】

図4



【図5】

図5

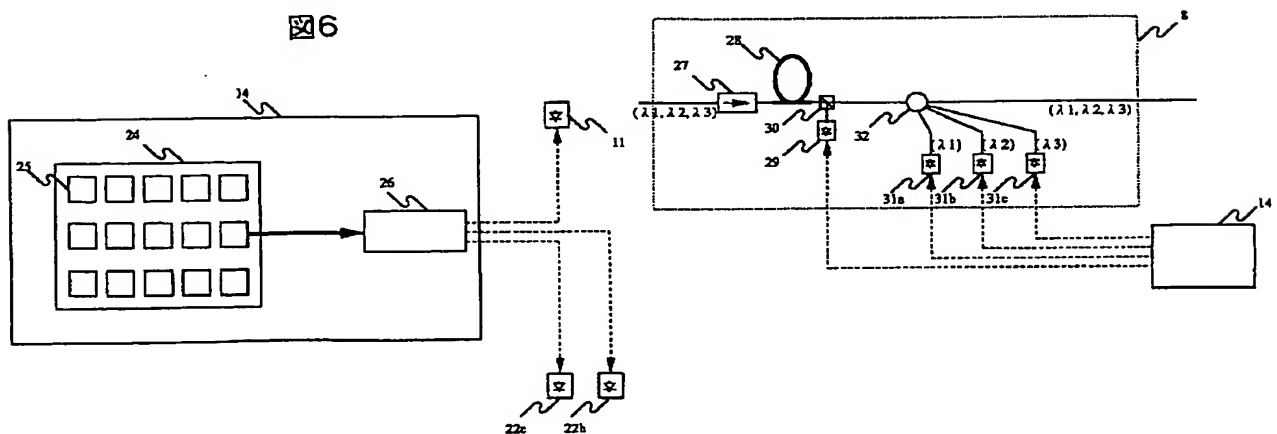


【図8】

図8

【図6】

図6



【图 1-4】

图 14

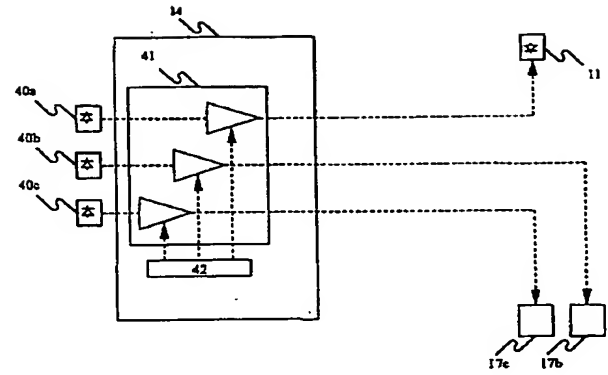


图9

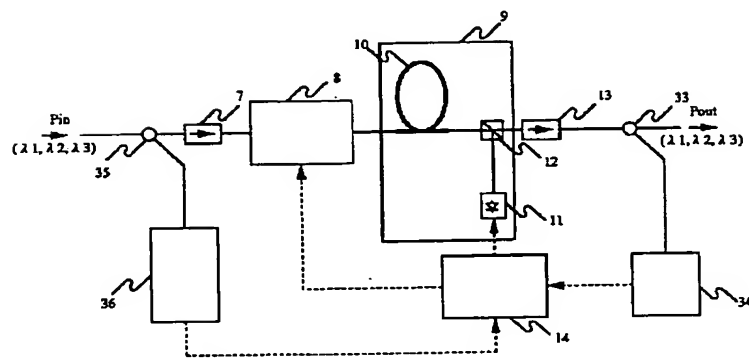
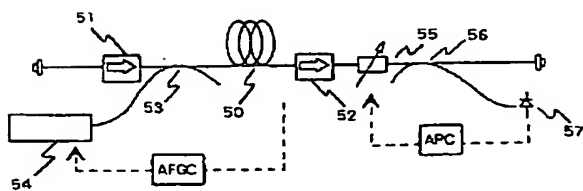
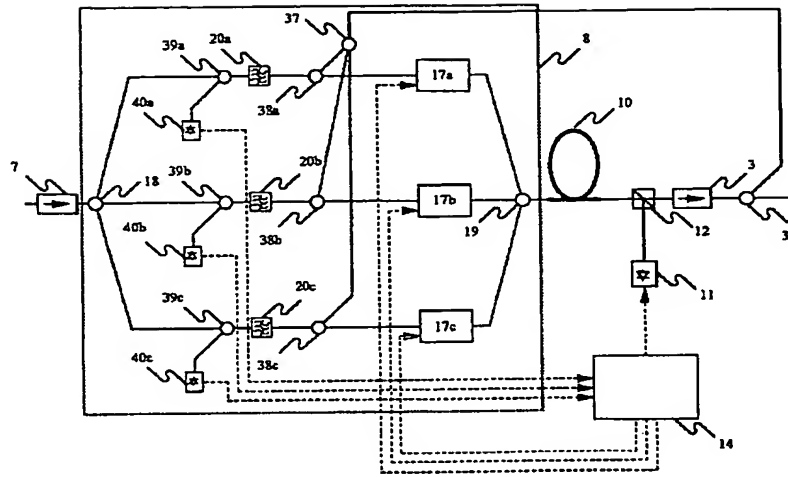


图 18



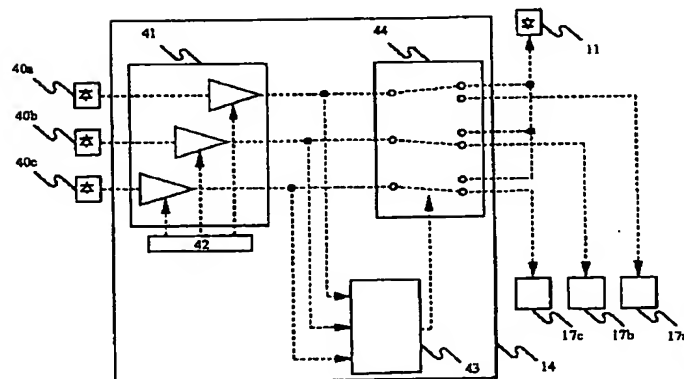
【図10】

図10



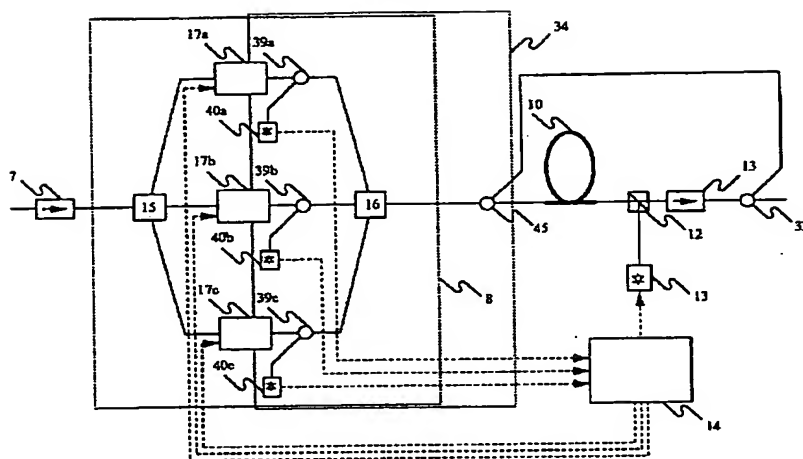
【図11】

図11



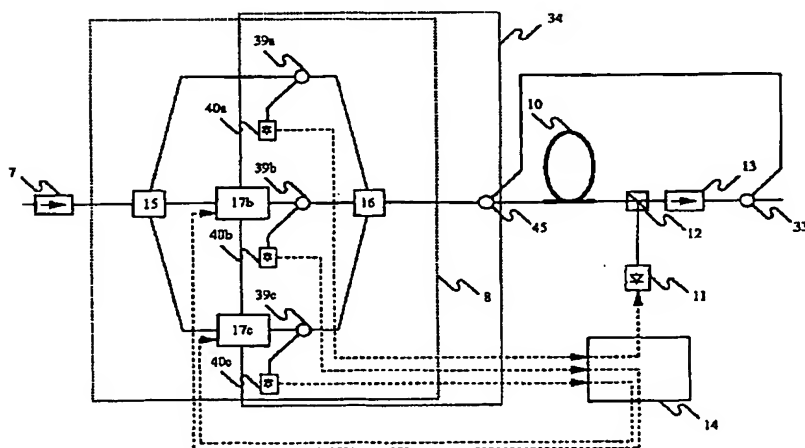
【図 12】

図12



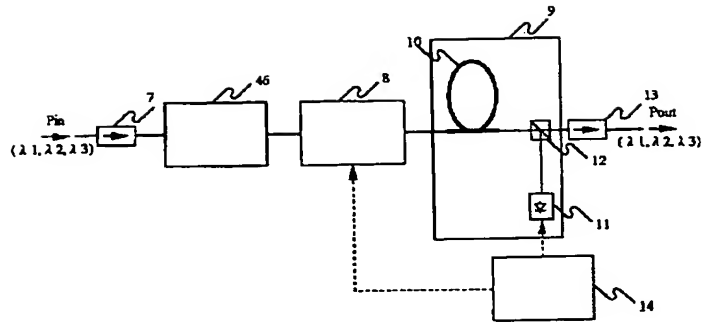
【図 13】

図13



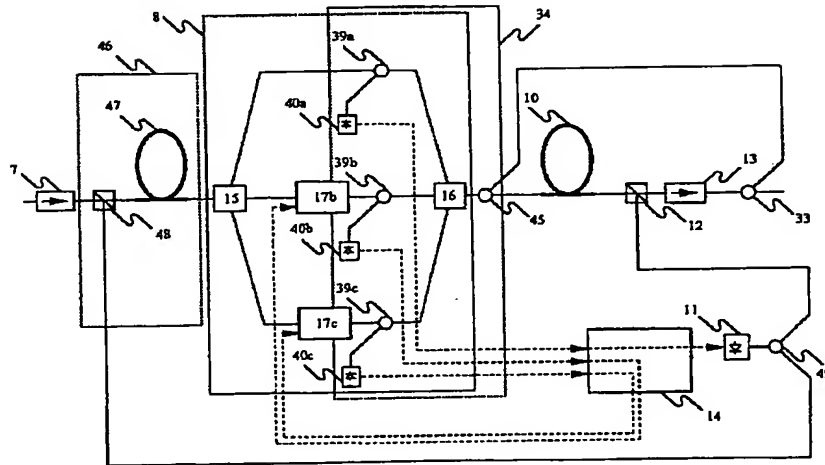
【図15】

図15



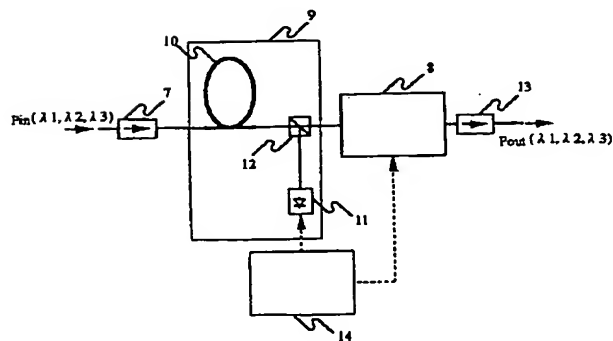
【図16】

図16



【図17】

図17



【公報種別】 特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】 第 6 部門第 2 区分
 【発行日】 平成 13 年 1 月 26 日 (2001. 1. 26)

【公開番号】 特開平 8-278523
 【公開日】 平成 8 年 10 月 22 日 (1996. 10. 22)
 【年通号数】 公開特許公報 8-2786
 【出願番号】 特願平 7-80559
 【国際特許分類第 7 版】

G02F 1/35 501
 H01S 3/07
 H04J 14/00
 14/02

【F I】

G02F 1/35 501
 H01S 3/07
 H04B 9/00 E

【手続補正書】

【提出日】 平成 11 年 11 月 15 日 (1999. 11. 15)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 特許請求の範囲

【補正方法】 変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力した複数の異なる波長の信号光が多重された光を増幅して出力する光増幅装置であって、前記入力した光を受け入れ、受け入れた光に含まれる少なくとも 1 つの波長の光を、当該光の波長と異なる波長の光とは独立に増幅または減衰する光パワー調整手段と、前記光パワー調整手段によって前記少なくとも 1 つの波長の光が増幅または減衰された光を増幅する光増幅手段と、前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御する制御手段とを有することを特徴とする光増幅装置。
 【請求項 2】 入力した複数の異なる波長の信号光が多重された光を増幅して出力する光増幅装置であって、前記入力した光を増幅する光増幅手段と、前記光増幅手段が増幅した光を受け入れ、受け入れた光に含まれる少なくとも 1 つの波長の光を、当該光の波長と異なる波長の光とは独立に増幅または減衰する光パワー調整手段と、前記光増幅手段が行う増幅の利得と、前記光パワー調整手段が行う増幅または減衰の利得とを、それぞれ制御する制御手段とを有することを特徴とする光増幅装置。
 【請求項 3】 請求項 1 または 2 記載の光増幅装置であっ

て、

前記光パワー調整手段は、光を伝搬する複数の径路と、前記受け入れた光を、当該光に含まれる各波長の光に分波して、前記複数の径路のそれぞれに各々伝搬させる光分波部と、前記複数の径路を伝搬した各波長の光を波長多重する光合波部と、前記複数の径路のうちの、少なくとも一つの径路中に設けられ、当該径路を伝搬する波長の光を前記制御手段の制御に従って増幅または減衰する光利得調節器とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 4】 請求項 1 または 2 記載の光増幅装置であって、

前記光パワー調整手段は、光を伝搬する複数の径路と、前記受け入れた光を、分岐して前記複数の径路のそれぞれに各々伝搬させる光分波部と、前記複数の径路を伝搬した各光のうちから、各径路毎に、それぞれ特定の波長の光を抽出し、抽出した各波長の光を波長多重する光合波部と、前記複数の径路のうちの、少なくとも一つの径路中に設けられ、当該径路を伝搬する光を前記制御手段の制御に従って増幅または減衰する光利得調節器とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 5】 請求項 1 または 2 記載の光増幅装置であって、

前記光パワー調整手段は、

i) 前記受け入れた光を伝搬する第 1 の希土類添加光ファイバと、当該希土類添加光ファイバを励起する光を出力する第 1 の励起光源と、当該第 1 の励起光源が出力する光を前記第 1 の希土類添加光ファイバに導く第 1 の励起光源用光合波器とを含む希土類添加光ファイバ増幅器

と、

i i) 前記受け入れた光に含まれる少なくとも 1 つの波長の光と同じ波長帯の光を出力する調節用光源と、当該光源の出力する光を前記希土類添加光ファイバ増幅器に、前記受け入れた光の伝搬方向と逆方向から導く調節用光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 6】請求項 1 または 2 記載の光増幅装置であって、前記制御手段は、前記光増幅手段が行う増幅の利得と前記光パワー調整手段が行う増幅または減衰の利得との組み合わせを記述したパラメータを複数記憶した記憶部と、

前記記憶部から前記複数種の組み合わせのうちから任意のパラメータを読みだし、読み出したパラメータに従って、前記光増幅手段が行う増幅の利得と前記光パワー調整手段が行う増幅または減衰の利得を制御する制御部とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 7】請求項 1、2、3、4 または 5 記載の光増幅装置であって、前記入力した光もしくは当該光増幅装置で増幅した光に多重されている各波長の光のパワーを検出するモニタ手段を備え、

前記制御手段は前記モニタ手段が検出した各波長の光のパワーに応じて、前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 8】請求項 3 記載の光増幅装置であって、前記光分波部は、前記受け入れた光を分岐する第 1 の光カプラと、当該光カプラと前記複数の径路との間に、前記光カプラで分岐された光に対応して設けられた、それぞれ特定の波長の光のみを双方向に透過させる光フィルタとを有し、

前記光合波部は、前記複数の径路を伝搬した各波長の光を合波する光スタカプラを含み、

前記光増幅装置は、前記光増幅手段が増幅した光の一部をモニタ光として分岐する手段と、分岐したモニタ光を前記光スタカプラに、前記各波長の光を合波した光の伝搬方向と逆方向より導くモニタ光用光合波手段と、前記複数の光フィルタの各々を前記光カプラが分岐した光とは逆方向に各々透過した前記モニタ光に含まれる各波長の光のパワーを、それぞれ検出する複数の光検出手段とを有し、

前記制御手段は、各光検出手段の検出した各波長の光のパワーに応じて、前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 9】請求項 4 記載の光増幅装置であって、前記光合波部は、前記複数の径路に対応して設けられた、それぞれ特定の波長の光のみを双方向に透過させる

複数の光フィルタと、前記複数の光フィルタを各々透過した各波長の光を合波する光スタカプラとを含み、前記光増幅装置は、前記光増幅手段が増幅した光の一部をモニタ光として分岐する手段と、分岐したモニタ光を前記光スタカプラに、前記各波長の光を合波した光の伝搬方向と逆方向より導くモニタ光用光合波手段と、前記複数の光フィルタの各々を前記光分波部が分波した光とは逆方向に各々透過した前記モニタ光に含まれる各波長の光のパワーを、それぞれ検出する複数の光検出手段とを有し、

前記制御手段は、各光検出手段の検出した各波長の光のパワーに応じて、前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 10】請求項 8 または 9 記載の光増幅装置であって、

前記制御手段は、前記各光検出手段の検出した各波長の光のパワーの各々と、予め定めた基準値とを比較する比較器と、基準値との差の最大値に応じて前記光増幅手段の行う増幅の利得を制御する手段とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 11】光伝送路と、光伝送路を伝搬した光を受信する受信装置と、複数の異なる波長の信号光が多重された多重光を生成する送信装置と、送信装置が生成した多重光を増幅して前記光伝送路に送信する請求項 1 または 2 記載の光増幅装置とを有することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 12】複数の異なる波長の信号光が多重された多重光を送信する送信装置と、送信装置が送信した多重光を伝搬する第 1 の光伝送路と、第 2 の光伝送路と、第 1 の光伝送路を伝搬した多重光を増幅して前記第 2 の光伝送路に中継する請求項 1 または 2 記載の光増幅装置と、第 2 の光伝送路を伝搬した多重光を受信する受信装置とを有することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 13】複数の異なる波長の信号光が多重された多重光を送信する送信装置と、送信装置が送信した多重光を伝搬する光伝送路と、光伝送路を伝搬した多重光を増幅する請求項 1 または 2 記載の光増幅装置と、前記光増幅装置が増幅した多重光を受信する受信装置とを有することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 14】請求項 3 または 4 記載の光増幅装置であって、

前記光利得調節器は、前記径路の一部を構成する第 1 の希土類添加光ファイバと、当該希土類添加光ファイバを励起する光を出力する第 1 の励起光源と、当該励起光源が出力する光を前記第 1 の希土類添加光ファイバに導く第 1 の励起光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 15】請求項 3 または 4 記載の光増幅装置であって、

前記光利得調節器は、半導体によって形成された増幅装置であることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 16】請求項 15 記載の光増幅装置であって、前記光増幅手段は、前記光利得調節器を形成する半導体と、同じ組成の半導体によって形成された増幅装置であることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 17】請求項 3 または 4 記載の光増幅装置であって、

前記光増幅手段は、第 2 の希土類添加光ファイバと、当該第 2 の希土類添加光ファイバを励起する光を出力する第 2 の励起光源と、当該第 2 の励起光源が出力する光を前記第 2 の希土類添加光ファイバに導く第 2 の励起光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 18】請求項 5 または 14 記載の光増幅装置であって、

前記光増幅手段は、前記第 1 の希土類添加光ファイバと同じ組成を有する第 2 の希土類添加光ファイバと、当該第 2 の希土類添加光ファイバを励起する光を出力する第 2 の励起光源と、当該第 2 の励起光源が出力する光を前記第 2 の希土類添加光ファイバに導く第 2 の励起光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 19】請求項 4 または 14 記載の光増幅装置であって、

前記第 1 の励起光源の出力する光の波長が、780nm～860nmであることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 20】入力した複数の異なる波長の信号光が多

重された光を増幅して出力する光増幅装置であって、前記入力した光を増幅する第 1 の光増幅手段と、前記光増幅手段が増幅した光を受け入れ、受け入れた光に含まれる少なくとも 1 つの波長の光を、当該光の波長と異なる波長の光とは独立に増幅または減衰する光パワー調整手段と、前記光パワー調整手段によって前記少なくとも 1 つの波長の光が増幅または減衰された光を増幅する第 2 の光増幅手段と、

前記光パワー調整手段の行う増幅または減衰の利得と、前記第 1 の光増幅手段の行う増幅の利得と、前記第 2 の光増幅手段の行う増幅の利得とを、それぞれ制御する制御手段とを有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 21】請求項 20 記載の光増幅装置であって、前記第 1 の光増幅手段は、前記入力した光を伝搬する第 1 の希土類添加光ファイバと、当該第 1 の希土類添加光ファイバを励起する光を出力する励起光源と、当該励起光源が出力する光を分岐する分岐手段と、当該分岐手段で分岐された光を前記第 1 の希土類添加光ファイバに導く第 1 の励起光源用光合波器とを含み、

前記第 2 の光増幅手段は、前記光パワー調整手段によって前記少なくとも 1 つの波長の光が増幅または減衰された光を伝搬する第 2 の希土類添加光ファイバと、前記分岐手段で分岐された、前記第 1 の希土類添加光ファイバに導かれる光とは異なる光を前記第 2 の希土類添加光ファイバに導く第 2 の励起光源用光合波器とを含むことを特徴とする光増幅装置。